

Всероссийская олимпиада по астрономии

2017/2018 учебный год

Муниципальный этап

РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

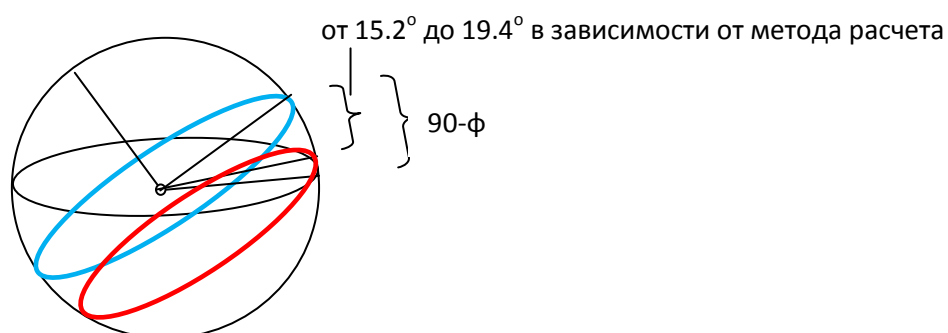
7-8 класс

1. Один из первых каталогов звезд – Альмагест (вероятно, как и первый, о котором сохранились сведения – каталог Гиппарха) создан при использовании эклиптической системы координат, в которой основной плоскостью является плоскость эклиптики. Почему исторически эта система была удобнее для использования, чем экваториальная, в которой, в основном, работают современные астрономы?

Решение: Положение эклиптики, являющейся основной плоскостью в соответствующей системе небесных координат, легко определяется на Небесной сфере (Н.С.) благодаря Солнцу, Луне и планетам (4 балла). Видимое движение этих объектов по Н.С. с точностью лучше 10° происходит в плоскости эклиптики, поскольку именно вблизи этой плоскости происходит их обращение в Солнечной системе. Плоскость Небесного экватора, основная в используемой сейчас экваториальной системе координат, никак не «отмечена» на НС (2+2 балла). Кроме того, именно расчет положений Солнца, Луны и планет (который также производится в эклиптической системе) был важен в древней астрономии и астрологии.

2. Известно, что Солнце движется в течении года по эклиптике – большому кругу небесной сферы, наклоненному к небесному экватору на 23.5° . Нарисуйте на схеме небесной сферы суточные параллели Солнца (т.е. линии суточного движения Солнца) – на 22 сентября и на день проведения олимпиады (20 ноября).

Решение: Если пренебречь суточным движением Солнца по склонению, тогда суточное движение можно считать параллелями: 22 сентября эта параллель есть небесный экватор (4 балла за рисунок и Н.Э.), 20 ноября эта параллель – малый круг ниже экватора на $19^\circ 44'$. (рис для места чуть севернее Казани) (4 балла). Склонение Солнца на 20 ноября приведено в задаче 5. Его можно примерно рассчитать и из пропорции: на 22.09 Солнце находится на Небесном экваторе, за 3 месяца к 22 декабря (91 сутки) опускается ниже экватора на 23.5° . Получается в среднем 0.258 градуса в сутки. К 20 ноября Солнце опустится за 59 суток $\cdot 0.258^\circ/\text{сутки} = 15.2^\circ$. (В любом случае, полный балл ставится за наличие рисунка и двух суточных параллелей с указанием, насколько они отстоят друг от друга. Если не указан угол между нижней параллелью и экватором, то оценка снижается на 1-2 балла).



3. Иногда можно слышать термины «звездопад» или «метеоритный дождь». Что это за явление, какой из терминов верный и почему?

Решение: «Звездопад» подразумевает «падение звезд», при этом мы знаем, что звезды никуда не падают и к наблюдаемым вспышкам метеорных тел, сгорающих в атмосфере Земли, вообще отношения не имеют (4 балла). «Метеоритный дождь» подразумевает, что падают метеориты, причем массово. Учтя, что метеорит – это не сгоревшее в атмосфере и долетевшее до Земли тело, подобное явление скорее напоминает бомбардировку (а в названии уместнее говорить о «метеоритном граде»). В любом случае, это крайне редкое событие, наблюдающееся, например, при разрушении в атмосфере крупного метеорного тела типа Челябинского метеорита и ничего общего не имеющее с «метеорным дождем» - т.е. метеорным потоком высокой интенсивности (4 балла). Ни один термин не верен.

4. Летом в приполярных областях Земли Солнце либо не заходит, либо большую часть суток находится над горизонтом. На экваторе продолжительность светового дня около 12 часов, т.е. меньше, чем в высоких широтах. Почему же тогда на экваторе жарче, чем в приполярных областях?

Решение: Среднесуточная температура зависит не только от продолжительности светового дня, но и от того, под каким углом лучи Солнца падают на поверхность (6 баллов). На экваторе Солнце в полдень находится вблизи зенита и его среднесуточная высота близка к $40-45^\circ$, в приполярных областях день хоть и длинный, но Солнце не поднимается выше $20-30^\circ$ (это сравнимо с высотой Солнца в Казани в октябре-ноябре или феврале-марте), поэтому на единичную площадку поверхности за день приходит в несколько раз меньше энергии. Поэтому в приполярных областях холоднее (2 балла).

5. Вычислите максимальную высоту Солнца над горизонтом в Казани в день проведения олимпиады (20 ноября склонение Солнца $\delta = -19^\circ 44'$).

Решение: В Северном полушарии Солнце проходит верхнюю кульминацию к югу от зенита, поэтому $h = 90 - \varphi + \delta$, $h = 90 - 55^\circ 47' + (-19^\circ 44') = 14^\circ 29'$ (8 баллов верные вычисления, из них 2 балла за любой аргументированный выбор формулы $h_{\text{вк}}$ – например, что для указанного случая $\delta < \varphi$ или с указанием факта верхней кульминации к югу от зенита; без аргументации не более 6 баллов).

6. На Земле есть параллели, называемые тропиками и параллели, называемые полярными кругами. Что это такое и какова их географическая широта?

Решение: Тропики – это параллели, отстоящие от экватора на угол $\varepsilon = 23^\circ 26'$ (их широты $\varphi = \pm \varepsilon$ для тропика Рака и Козерога, соответственно) (2 балла широта). Они определяются как параллели, на которых раз в год Солнце проходит верхнюю кульминацию в зените и, фактически, отделяют области на Земле, где Солнце может кульминировать в зените, от областей, где это невозможно (2 балла описание).

Полярные круги – это параллели, отстоящие от полюсов на угол $\varepsilon=23^{\circ}26'$ (их широты $\varphi=\pm 90-\varepsilon=\pm 66^{\circ}34'$) (1 балла широта). Они определяются как параллели, на которых раз в год наступал бы полярный день и раз в год – полярная ночь, если бы Солнце было точкой и не было атмосферной рефракции. То есть, фактически, отделяют области на Земле, где полярный день и полярная ночь возможны, от областей, где это невозможно (2 балла описание). В действительности из-за конечных размеров Солнца и наличия рефракции полярная ночь наступает лишь примерно на $51'$ ближе к полюсам, а полярный день – на столько же ближе к экватору, т.е. строго на полярном круге полярный день есть, а полярной ночи – нет (1 балл).

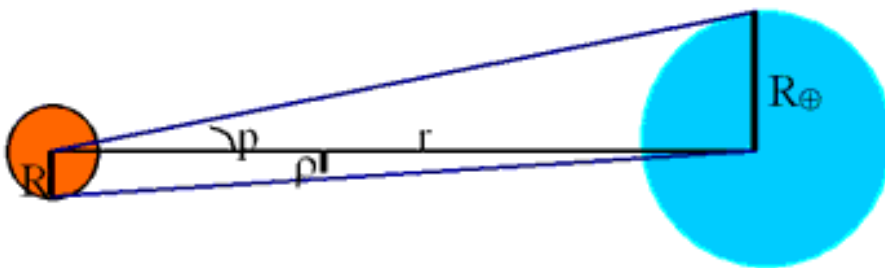
9 класс

1. Один из первых каталогов звезд – Альмагест (вероятно, как и первый, о котором сохранились сведения – каталог Гиппарха) создан при использовании эклиптической системы координат, в которой основной плоскостью является плоскость эклиптики. Почему исторически эта система была удобнее для использования, чем экваториальная, в которой, в основном, работают современные астрономы?

Решение: см. задачу 1 для 7-8 класса.

2. Какие видимые размеры имеет Солнце при наблюдениях с Сатурна? Правда ли, что с Сатурна Солнце выглядит просто яркой звездой? Разрешающая способность человеческого глаза около $1'$. Необходимые параметры указаны в справочных данных.

Решение: Иллюстрацией к решению задачи является прямоугольный треугольник, в котором угол ρ - угловой радиус Солнца, а противолежащий ему катет R – линейный радиус Солнца. Решаем по формуле, связывающей линейный и угловой радиусы объекта Солнечной системы через расстояние до него (фактически через определение параллакса) (4 балла):



$$R = r \cdot \sin \rho;$$

$$R = \frac{\rho}{p} R_{\oplus};$$

$$R = \frac{\rho''}{206265''} \cdot r.$$

Таким образом, $\rho = 206265 R/r = 206265 \cdot 6.96 \cdot 10^5 / (9.5 \cdot 1.496 \cdot 10^8) = 101'' = 1.7'$

Ответ: $\rho = 1.7'$. Солнце с Сатурна будет наблюдаться в виде небольшого диска.

(2 балла вычисления, 2 балла сравнение с разрешающей способностью глаза и вывод).

2-й вариант решения: Видимый размер Солнца с Земли $30'$, а большая полуось орбиты Сатурна равна 9.5 а.е. То есть Сатурн в среднем находится в 9.5 раз дальше от

Солнца и угол под которым мы видим Солнце тоже будет в 9.5 раз меньше. Видимый угловой размер Солнца с Сатурна будет $30'/9.5 = 3.15'$, что вполне различимо глазом.

Оценка 8 баллов ставится за любой верный и полный вариант решения.

3. Спутник Земли выведен на эллиптическую орбиту эксцентриситетом 0.5 и с высотой перигея 1000 км. Вычислите период его обращения.

Решение: Высота перигея равна 1000 км, радиус Земли 6370 км (требуется знать хотя бы приблизительно (3 балла)), перигейное расстояние 16370 км. Большая полуось орбиты $a = 16370 \text{ км} * 2 = 32740 \text{ км}$ (2 балла). По третьему закону Кеплера, пренебрегая массой спутника получим:

$$T = ((a^3 \cdot 4\pi^2) / G \cdot M_{\text{З}})^{1/2} = 16.4 \text{ часа (3 балла закон Кеплера и вычисления)}.$$

Примечание: за вычисления в общем виде, без указания численного значения радиуса Земли, ставится до 6 баллов.

4. Нижнее соединение Венеры произошло 25 марта 2017г. Определите момент ее верхнего соединения. Насколько дольше будет идти радиосигнал от Земли к Венере при изменении ее положения (от нижнего до верхнего соединения)? Все выкладки пояснить рисунком. Необходимые параметры указаны в справочных данных.

Решение. Сидерический период $T_s = (a^3)^{0.5}$; $T_s = 0.61 \text{ г}$ (2 балла)

Согласно синодическому уравнению $1/s = 1/T_B - 1/T_3$ и $S = 1.56 \text{ г}$ (2 балла)

В верхнем соединении планета окажется через $0.5 S = 0.78 \text{ г} = 285 \text{ дн}$. То есть через 9.5 месяцев. Приблизительно это будет 10 (11) января 2018г. (2 балла)

Расстояние до Венеры к этому моменту увеличится на $l = 2 * 0.72 = 1.44 \text{ а.е.}$, следовательно, радиосигнал будет идти от Земли к Венере дольше на $l/c = 720 \text{ с} = 12 \text{ минут}$ (2 балла при наличии рисунка).

5. Вычислите максимальную высоту Солнца над горизонтом в Казани в день проведения олимпиады (20 ноября склонение Солнца $\delta = -19^\circ 44'$).

Решение: см. задачу 5 для 7-8 класса.

6. Блеск Солнца $m_1 = -26.6^m$, а блеск ярчайшей звезды неба (Сириуса) $m_2 = -1.6^m$. Как далеко надо удалиться от Земли, чтобы Солнце стало сравнимо по яркости с ярчайшими звездами?

Решение: Солнце должно стать на $-1.6 - (-26.6) = 25^m$, т.е. в 10^{10} раз менее ярким (каждые 100 раз перепада яркости дают 5^m разницы звездных величин) (4 балла), т.е. удалиться от него надо (согласно закону обратных квадратов) в $(10^{10})^{1/2} = (10^5)$ раз дальше, чем мы сейчас, т.е. на 10^5 а.е. (4 балла).

10 класс

1. На какой наибольшей высоте над горизонтом может находиться полная Луна для наблюдателя на земном экваторе? В какое время суток (с точностью до часа) это возможно и почему?

Решение: На экваторе верхнюю кульминацию в зените (т.е. вообще на максимально возможной высоте $h=90^\circ$) проходят объекты с $\delta=0$, что вполне возможно и для Луны. (ответ – на высоте 90° или в зените – 4 балла с аргументацией). При этом учтя, что Луна полная, разность эклиптических долгот Луны и Солнца составляет 180° (2 балла) и в момент верхней кульминации Луны Солнце находится в нижней. Это соответствует моменту местной полночи. (2 балла, причем должно присутствовать определение «местной» или «местной истинной» полночи, без этого 1 балл).

2. 6 сентября 2017 г. в 12 ч по всемирному времени на Солнце произошла вспышка, в результате которой, а 8 сентября в полночь по московскому времени началась вызванная ею очень сильная магнитная буря. Вычислите, с какой скоростью двигалось в сторону Земли вещество, выброшенное с поверхности Солнца. Движение вещества считать прямолинейным и равномерным.

Решение: $t_1 = 12$ ч UT 6 сентября, $t_2 = 0$ ч по Москве 8 сентября = 21 ч UT 7 сентября (4 балла). Поэтому $\Delta t = t_2 - t_1 = 33$ ч = 118800 сек (2 балла). Зная $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^8$ км, получим скорость потока от вспышки: $v = r/\Delta t = 1259$ км/сек (2 балла).

3. Спутник Земли выведен на эллиптическую орбиту эксцентриситетом 0.5 и с высотой перигея 1000 км. Вычислите период его обращения.

Решение: см. задачу 3 для 9 класса.

4. Нижнее соединение Венеры произошло 25 марта 2017г. Определите момент ее верхнего соединения. Насколько дольше будет идти радиосигнал от Земли к Венере при изменении ее положения (от нижнего до верхнего соединения)? Все выкладки пояснить рисунком.

Решение: см. задачу 4 для 9 класса.

5. Вычислите максимальную высоту Солнца над горизонтом в Казани в день проведения олимпиады (20 ноября склонение Солнца $\delta = -19^\circ 44'$).

Решение: см. задачу 5 для 7-8 класса.

6. Блеск Солнца $m_1 = -26.6^m$, а блеск ярчайшей звезды неба (Сириуса) $m_2 = -1.6^m$. Как далеко надо удалиться от Земли, чтобы Солнце стало сравнимо по яркости с ярчайшими звездами? Будет ли эта точка находиться еще в Солнечной системе?

Решение: Солнце должно стать на $-1.6 - (-26.6) = 25^m$, т.е. в 10^{10} раз менее ярким (каждые 100 раз перепада яркости дают 5^m разницы звездных величин) (3 балла), т.е. удалиться от него надо (согласно закону обратных квадратов) в $(10^{10})^{1/2} = (10^5)$ раз дальше, чем мы сейчас, т.е. на 10^5 а.е. или примерно 0.5 пк (3 балла). Ответ на вопрос, будет ли еще эта точка лежать в СС, зависит от того, как определить ее границы. Если как область гелиопаузы (где давление магнитного поля Солнца сравнивается с магнитным давлением Галактики), расположенную на расстоянии около 130 а.е. от Солнца, то, безусловно, искомая точка находится далеко за пределами СС. Если же определять гравитационную границу СС (как области, где притяжение Солнца доминирует), то она находится на характерном расстоянии 0.3-0.5 пк от Солнца (вычисляется исходя из расстояния до ближайших звезд) и искомая в задаче точка находится вблизи этой границы вне ее. (За любое из указанных объяснений ставится 2 балла, если сказано, что точка примерно совпадает с границей СС по второму определению – также 2 балла).

11 класс

1. Звезда на расстоянии 8 пк показывает смещение линии водорода в спектре относительно лабораторной длины волны $\lambda_0 = 486.1$ нм на 0.1 нм в красную сторону. Найдите лучевую скорость звезды.

Решение: лучевая скорость – проекция пространственной скорости звезды на луч зрения, причем принято считать движение от наблюдателя положительным (3 балла).

Согласно эффекту Доплера (3 балла)

$$(\lambda_n - \lambda_0) / \lambda_0 = Vr/c, \text{ где } c - \text{ скорость света,}$$

$$\text{откуда } Vr = c \cdot (\lambda_n - \lambda_0) / \lambda_0 = 300000 \text{ км/с } (486.2 - 486.1) / 486.1 \approx 61.7 \text{ км/с.}$$

(вычисления и указание на движение звезды от наблюдателя – 2 балла).

2. 6 сентября 2017 г. в 12 ч по всемирному времени на Солнце произошла вспышка, в результате которой, а 8 сентября в полночь по московскому времени началась вызванная ею очень сильная магнитная буря. Вычислите, с какой скоростью двигалось в сторону Земли вещество, выброшенное с поверхности Солнца. Движение вещества считать прямолинейным и равномерным.

Решение: см. задачу 2 для 10 класса.

3. Спутник Земли выведен на эллиптическую орбиту эксцентриситетом 0.5 и с высотой в перигее 1000 км. Вычислите период его обращения.

Решение: см. задачу 3 для 9 класса.

4. Нижнее соединение Венеры произошло 25 марта 2017г. Определите момент ее верхнего соединения. Насколько дольше будет идти радиосигнал от Земли к Венере при

изменении ее положения (от нижнего до верхнего соединения)? Все выкладки пояснить рисунком.

Решение: см. задачу 4 для 9 класса.

5. Сколько раз в год Солнце кульминирует в Казани на высоте 40° , в какие сезоны это происходит?

Решение: В Северном полушарии Солнце проходит верхнюю кульминацию к югу от зенита (2 балла за любой аргументированный выбор формулы $h_{\text{вк}}$ – например, что для указанного случая $\delta < \varphi$), поэтому верхней кульминации в Казани на высоте 40° соответствует склонение Солнца $\delta = h - 90 + \varphi$, $\delta = 40 - 90 + 55^\circ 47' = 05^\circ 47'$ (2 балла). Это возможно дважды в год (2 балла), примерно через две недели после весеннего равноденствия и за две недели до осеннего. Т.е. это примерно 7-9 апреля и 8-9 сентября (2 балла за указание сезонов – середина весны или точнее, начало осени или точнее).

6. Блеск Солнца $m_1 = -26.6^m$, а блеск ярчайшей звезды неба (Сириуса) $m_2 = -1.6^m$. Как далеко надо удалиться от Земли, чтобы Солнце стало сравнимо по яркости с ярчайшими звездами? Будет ли эта точка находиться еще в Солнечной системе?

Решение: см. задачу 6 для 10 класса.

Справочные данные:

Продолжительность тропического года $T = 365.2422$ суток; $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^8 \text{ км}$; большие полуоси орбит планет – 0.38, 0.72, 1, 1.52, 5.2, 9.5, 19.2, 30 а.е. для Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна соответственно; наклонение земного экватора к плоскости эклиптики $\varepsilon = 23^\circ 26'$; угол наклона плоскости орбиты Луны к эклиптике – $5^\circ 09'$; широта Казани – $55^\circ 47'$; угловой размер Солнца – $32'$, радиус Солнца – $6.96 \cdot 10^5 \text{ км}$; угол рефракции в горизонте – $35'$.

Задания разработаны на кафедре астрономии и космической геодезии Казанского федерального университета, со всеми вопросами обращаться к Жучкову Роману Яковлевичу, e-mail: gilgalen@yandex.ru тел. +7 (843) 2927797